

2/19/1 DIALOG(R)File 351:Derwent WPI (c) 2004 Thomson Derwent. All rts. reserv.

003289444

WPI Acc No: 1982-D7455E/198214

**Absolute linear or angular position measurement device -
uses photodiode scanning of graduated rule with section aligning code
fields**

Patent Assignee: ZEISS FA CARL (ZEIS)

Inventor: KUEHNE C

Number of Countries: 003 Number of Patents: 004

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
DE 3035012	A	19820401				198214 B
FR 2490810	A	19820326				198217
DE 3035012	C	19820812				198233
US 4421980	A	19831220	US 81302711	A	19810916	198402

Priority Applications (No Type Date): DE 3035012 A 19800917

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan Pg	Main IPC	Filing Notes
DE 3035012	A	25		

Abstract (Basic): DE 3035012 A

A length or angle position measurement device using a photoelectrically scanned rule operates absolutely over its entire measurement range yet is comparable with incremental systems in terms of resolution and cost. The rule (1) moves w.r.t. a photodiode array (3) upon whose photosensitive surface its incremental divisions (2) are projected. The rule incremental graduations are divided into sections by one or more code fields whose length projected onto the photodiode array is less than the length of the photosensitive surface.

The number of photodiodes upon which the code feed is projected is determined by an electronic circuit which forms an interpolation value from the signal intensities of the remaining diodes receiving the graduation projection. The absolute position of the rule w.r.t. the array is determined from the two variables established by the circuit.

Abstract (Equivalent): US 4421980 A

The angular-position encoder has a transparent scale (106) which is rotatably supported between an illumination device (109) secured to the housing and a photoelectric receiver. A self-scanning photodiode array (102) which has an annular photosensitive region (103) is used as the receiver. The otherwise uniform incremental graduation (108) of the scale (102) which is projected onto the array is interrupted at one point by a code field (111) which covers a few diodes of the array.

Eased on the numbers of the diodes onto which the code field (111) is projected, the position of the scale (106) is determined as an absolute quantity by a 'rough' read-out electronic system. A 'fine' reading (added to the 'rough' determination) is effected by an interpolation based on the signal intensities of the other diodes covered by the incremental graduation (108). (6pp)

Title Terms: ABSOLUTE; LINEAR; ANGULAR; POSITION; MEASURE; DEVICE; PHOTODIODE; SCAN; GRADUATED; RULE; SECTION; ALIGN; CODE; FIELD

Derwent Class: P56; S02

International Patent Class (Additional): B23Q-017/02; G01B-007/02; G01B-011/26; G01C-001/02; G01D-005/36

File Segment: EPI; EngPI

Manual Codes (EPI/S-X): S02-A02A; S02-A02F; S02-A03B2; S02-A03B4

Derwent WPI (Dialog® File 351): (c) 2004 Thomson Derwent. All rights reserved.

© 2004 Dialog, a Thomson business

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑪ **DE 3035012 A1**

⑤① Int. Cl. 3:
G01 B 11/26
G 01 B 11/00
G 01 B 7/02
G 01 B 7/30

⑳ Aktenzeichen:
㉔ Anmeldetag:
㉓ Offenlegungstag:

P 30 35 012.0-52
17. 9. 80
1. 4. 82

Ständiger

㉑ Anmelder:
Fa. Carl Zeiss, 7920 Heidenheim, DE

㉒ Erfinder:
Kühne, Christoph, Dipl.-Phys., 7928 Giengen, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

㉕ Stellunggeber

DE 3035012 A1

DE 3035012 A1

Patentansprüche:

1. Einrichtung zur Längen- bzw. Winkelmessung (Stellungsgeber) mittels
eines relativ zu einem aus einer Vielzahl von Einzeldioden bestehen-
den Photodiodenarray (3, 102) bewegbaren Maßstabs (1, 106), dessen
im wesentlichen inkrementale Teilung (2, 12, 108) auf die lichttemp-
findliche Fläche (5, 103) des Arrays (3, 102) projiziert wird, da-
durch gekennzeichnet, daß die inkrementale Teilung (2, 12, 108) des
Maßstabs (1, 106) durch mindestens ein Codefeld (4, 14, 111) in Ab-
schnitte geteilt ist, deren auf das Array projizierte Länge (a, a',
N-3) geringer als die Länge (d, N) der photoempfindlichen Fläche (5,
103) des Arrays (3, 102) ist.
2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Photo-
diodenarray (3, 102) mit einer elektronischen Schaltungsanordnung
(18, 19) verbunden ist, die die Nummern der Photodioden erkennt, auf
die das Codefeld (4, 14, 111) projiziert ist, aus den Signalintensi-
täten der übrigen von der inkrementalen Teilung (2, 12, 108) bedeck-
ten Dioden einen Interpolationswert (Δx , $\Delta \phi$) bildet und aus beiden
Größen den der absoluten Stellung zwischen Maßstab (1, 106) und Ar-
ray (3, 102) entsprechenden Meßwert (ϕ , x) berechnet.
3. Einrichtung nach Anspruch 1-2, dadurch gekennzeichnet, daß das Photo-
diodenarray (3, 102) aus zwei Teilen bzw. Teilbereichen besteht und
eine elektronische Schaltung zur gegenläufigen, sequentiellen Abta-
stung der Einzeldioden beider Teile vorgesehen ist.
4. Einrichtung nach Anspruch 1-3, dadurch gekennzeichnet, daß die Be-
leuchtungseinrichtung (10, 11, 109) für den Maßstab (1, 106) mit dem
Abtastzyklus des Diodenarrays (3, 102) synchronisierte Lichtblitze
kurzer Dauer aussendet.
5. Einrichtung zur Längenmessung nach Anspruch 1-4, dadurch gekennzeich-
net, daß die Teilung (2) des linearen Maßstabs (1) mehrere äqui-
distant angeordnete, mit einer Kennung (18; 19) versehene Codefelder

(4a, 4b) enthält, deren Abstand (a) in Verbindung mit der Kennung (18; 19) ein absolutes Längenmaß verkörpert.

6. Einrichtung zur Längenmessung nach Anspruch 1-4, dadurch gekennzeichnet, daß die Teilung (2) des linearen Maßstabs (1) mehrere Codefelder (14a-c) mit unterschiedlichem gegenseitigen Abstand (a') enthält und die Abstände (a') der Codefelder ein absolutes Längenmaß verkörpern.

7. Einrichtung zur Längenmessung nach Anspruch 5 und 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Codefelder (4, 14) bzw. deren Abstände (a, a') einen fortlaufenden Nummerncode bilden und eine elektronische Schaltungsanordnung zur Berechnung der Lage (x) des Maßstabs (1) relativ zum Array (3) im wesentlichen gemäß der Gleichung:

$$X = \sum_{i=1}^n a_i + m \cdot \Delta p + \Delta x$$

vorgesehen ist, mit

<p>20 25</p>	<p>a_i = Abstand der Codefelder, Δp = mittlerer Diodenabstand, Δx = Interpolationswert</p>	<p>n = Nummer des betreffenden Codefeldes m = Nummer der vom Codefeld bedeckten Photodiode.</p>
------------------	---	--

8. Einrichtung zur Winkelmessung nach Anspruch 1-4, dadurch gekennzeichnet, daß ein Codefeld (111) auf der Teilung (108) des kreisförmigen Maßstabs (106) angebracht ist und als Detektor ein ringförmiges Diodenarray (102) verwendet ist, auf dessen lichtempfindliche Fläche (103) die Maßstabsteilung (108) abgebildet ist.

9. Einrichtung zur Winkelmessung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß das ringförmige Diodenarray (102) eine geradzahlige Anzahl von Dioden besitzt, die Anzahl der Teilstriche des Maßstabs (106) im wesentlichen gleich der Anzahl der Dioden des Arrays (102) ist und das Codefeld (111) durch drei aneinandergrenzende Teilstriche gleicher Lichtdurchlässigkeit gebildet ist.

17-00-00

3035012

-3-

FIRMA CARL ZEISS, 7920 HEIDENHEIM (BRENZ)

STELLUNGSGEBER

I P 896

I G 1053

Stellungsgeber

Die Erfindung betrifft eine Einrichtung zur Längenmessung bzw. Winkelmessung mit Hilfe eines photoelektrisch abgetasteten Maßstabes, also einen
5 photoelektrischen Stellungsgeber.

Derartige Einrichtungen werden z. B. in Werkzeugmaschinen, Koordinatenmeßmaschinen, Komparatoren, Theodoliten etc. dazu benutzt, um die Stellung eines beweglichen Maschinenteils automatisch zu messen und das Meßergebnis, das die aktuelle Position des Maschinenteils relativ zur feststehenden Basis repräsentiert, über eine nachgeschaltete Elektronik einer Anzeigeeinheit zuzuführen bzw. zur Steuerung der betreffenden Maschinen weiterzuverarbeiten.

15 Die bekannten digitalen Meßeinrichtungen mit photoelektrischer Maßstabsabtastung lassen sich nach Funktion und Aufbau in zwei Gruppen einteilen, in absolut messende Systeme, die einen sogenannten codierten Maßstab verwenden, und inkremental messende Systeme, deren Maßstab eine gleichmäßige, äquidistante Teilung besitzt.

20

Die Herstellung absolut arbeitender Meßsysteme ist sehr aufwendig, besonders wenn eine hohe Auflösung über einen relativ großen Meßbereich erzielt werden soll. Es werden nämlich bei einer Schrittzahl a , die sich unabhängig vom gewählten Code als Quotient aus Meßbereich und kleinster noch
25 auflösbarer Einheit ergibt, mindestens $2 \log a$ Codespuren auf dem Maßstab und ebenso viele photoelektrische Empfänger zur Maßstabsablesung benötigt.

Es wurde bereits versucht, diesen Aufwand dadurch zu vermindern, daß man die feinstgeteilte Codespur durch mehrere in Meßrichtung versetzt angeordnete Detektoren abtastet, wie dies beispielsweise in der DE-AS 20 30 404
30 gelehrt wird. Da aber die gegenseitige Entfernung dieser Detektoren direkt in die Meßgenauigkeit der Einrichtung eingeht, ist hier eine aufwendige Justierung der Detektoranordnung erforderlich. Zum anderen ist es schon wegen der Mindestabmessungen der Detektoren nicht möglich, nach diesem
35 Prinzip ein hochauflösendes und kompaktes Meßsystem zu schaffen.

Inkrementale Meßsysteme sind dagegen weniger aufwendig, da lediglich Maßstäbe mit einer einspurigen Rasterteilung benötigt werden, und lassen z. B. unter Ausnützung des Moiré-Effektes und elektronischer Interpolation eine sehr viel höhere Auflösung zu als absolute Meßsysteme. Da aber die momentane Lagebestimmung bei inkrementalen Systemen auf einer permanenten Summierung bzw. Subtraktion überfahrener Inkremente beruht, werden Meßfehler, die z. B. durch Fehlimpulse bei der schnellen Richtungsumkehr des Meßsystems entstehen, ständig akkumuliert. Dies wirkt sich insbesondere beim Betrieb des Meßsystems im quasi Stillstand nachteilig aus.

10

Um diesen Nachteil zu vermeiden ist es z. B. aus der DE-AS 25 40 412 bekannt, neben der Rasterteilung auf dem verwendeten linearen Maßstab eine Reihe von Marken aufzubringen, die Absolutwerte darstellen und im Zusammenwirken mit einer geeigneten Ausleseseinheit beim Überfahren zur wiederholten Initialisierung des inkrementalen Meßsystems dienen. Damit wird zwar der Akkumulationszyklus verringert; der mit einem solchen Meßsystem ausgerüsteten Vorrichtung, die in regelmäßigen Abständen in eine bestimmte Position zur Initialisierung eingefahren werden muß, wird damit jedoch eine umständliche und in vielen Fällen störende Betriebsweise aufgezwungen.

Diesen Nachteil besitzt auch die in der DE-PS 24 26 212 vorgeschlagene Einrichtung, die zwar mehrere, in einem mit der Genauigkeit der inkrementalen Teilung festgelegten gegenseitigen Abstand angeordnete Absolutmarken besitzt und daher über ihren Meßbereich mehrfach initialisiert werden kann. Im Bereich zwischen den Marken verhält sich das Meßsystem jedoch wie ein rein inkremental arbeitendes System, da der zur Erkennung der Absolutmarken verwendete Detektor sich lediglich über den Bereich einer einzigen Marke erstreckt.

30

Aus der CH-PS 591 675 ist ein lineares Meßsystem bekannt, bei dem ein Rastermaßstab auf die lichtempfindliche Fläche eines linearen Photodiodenarrays abgebildet wird. Das dort beschriebene Meßsystem arbeitet jedoch rein inkremental und besitzt die vorstehend genannten prinzipiellen Nachteile inkrementaler Systeme.

Für angulare Stellungsgeber (Winkelencoder) sind die auf lineare Stellungsgeber abgestellten Bemerkungen zum Stand der Technik sinngemäß zu übertragen. Zusätzlich ist anzumerken, daß Winkelencoder empfindlich auf Exzentrizitäten des Kreismaßstabs reagieren und daraus resultierende Meßfehler durch den höheren Aufwand einer Doppelabtastung mit zwei um 180° gegeneinander versetzte Detektoren vermieden werden müssen.

Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen über den gesamten Meßbereich absoluten Stellungsgeber zu schaffen, der im Auflösungsvermögen und baulichem Aufwand mit inkrementalen Systemen vergleichbar ist.

Ausgehend von einer Einrichtung nach dem Oberbegriff wird diese Aufgabe gemäß dem kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 dadurch gelöst, daß die inkrementale Teilung des Maßstabes durch mindestens ein Codefeld in Abschnitte geteilt ist, deren auf das Array projizierte Länge geringer als die Länge der photoempfindlichen Fläche des Arrays ist.

Dadurch wird erreicht, daß sich im gesamten Meßbereich stets das Muster mindestens eines Codefeldes auf dem Sensor der Ausleseeinheit, dem Photodiodearray befindet. Somit stehen die Nummern der vom Codefeld bedeckten Dioden als Information über die Absolutlage des Meßsystems permanent auslesbar zur Verfügung. Eine Initialisierung des Systems ist daher nicht erforderlich.

In einer Meßeinrichtung nach der vorliegenden Erfindung sind die Vorteile eines absoluten Meßsystems mit denen eines inkrementalen Systems unter Vermeidung der beiden Systemen bislang anhaftenden Unzulänglichkeiten vereinigt. Es wird nur ein Maßstab benötigt, der im wesentlichen nur ein einziges leicht aufzubringendes inkrementales Raster trägt. Lediglich an wenigen Stellen befindet sich ein kurzes Codefeld, das beispielsweise sehr einfach durch Weglassen von Rasterstrichen der inkrementalen Teilung gebildet werden kann.

Das gleichzeitig als Sensor und Gegenraster dienende Diodearray selbst ist zumindest in linearer Bauform ein handelsübliches Bauteil, das keiner

besonderen nachträglichen Anpassung an das Meßsystem bedarf. Die nach diesem Prinzip aufgebaute Meßeinrichtung besitzt somit einen höchst einfachen Aufbau unabhängig davon, ob sie als lineares Wegmeßsystem oder als Winkelgeber aufgebaut ist.

5

Da das Diodenarray nicht nur der Lageerkennung eines auf einem kleinen Teilbereich seiner photoelektrisch nutzbaren Oberfläche auffallenden Codefeldes dient, sondern darüber hinaus gleichzeitig in der Größenordnung der Anzahl der im Array integrierten Dioden von typisch 10^3 eine Information über die Position eines jeweils in festgelegter Relation zum Codefeld auf dem Maßstab angebrachten Teilstriches des Rasters liefert, läßt sich eine hochgenaue Interpolation des primär in der Größenordnung der Rasterkonstanten des Arrays aufgelösten Wertes für die Position des Codefeldes durchführen. Damit mitteln sich sowohl Teilungsfehler des Maßstabs als auch Fertigungstoleranzen des Arrays in hohem Maße statistisch aus. Wie die anhand der Zeichnungen erläuterten Ausführungsbeispiele zeigen, läßt sich das Auflösungsvermögen der Meßeinrichtung durchaus mit der eines konventionellen inkrementalen Systems vergleichen.

20 Dazu ist das Array zweckmäßig mit einer elektronischen Schaltungsanordnung verbunden, die aus den bei der Abtastung des Arrays gewonnenen Signalen die Position der Photodioden erkennt, auf die das Codefeld bzw. die Codefelder projiziert sind, sowie aus den Signalintensitäten der übrigen von der inkrementalen Teilung bedeckten Dioden einen Interpolationswert bildet und aus beiden Größen den der absoluten Stellung zwischen Maßstab und Array entsprechenden Meßwert berechnet. Solche Schaltungen können entweder diskret aufgebaut sein oder durch einen entsprechend programmierten Mikroprozessor realisiert werden. Für ihre Ausführung bieten sich nach dem Stand der Technik eine Vielzahl von Möglichkeiten an.

30

Auf dem Maßstab eines Winkelencoders (Teilkreis) wird nur ein Codefeld benötigt, wenn das Array als geschlossener Ring ausgebildet ist, der den gesamten Meßbereich von 360° abdeckt. Für einen linearen Stellungsgeber werden mehrere Codefelder benötigt, da der Meßbereich im allgemeinen die Länge des Arrays um ein Vielfaches übersteigt. Um auch für diesen Fall

die Eindeutigkeit der Messung zu gewährleisten, sind die Codefelder mit einer vom Array lesbaren und elektronisch verarbeitbaren Kennung zu versehen.

5 Es ist vorteilhaft, die Kennung als dual codierte Information in das Codefeld selbst einzuschreiben. Die Codefelder können dann äquidistant auf den Maßstab angeordnet werden. Weiterhin besteht die Möglichkeit, den Abstand der Codefelder als Kennung heranzuziehen. Die Codefelder können dann sehr einfach, beispielsweise durch Weglassen eines Teilstriches des
10 Maßstabs hergestellt werden. Dabei ist allerdings sicherzustellen, daß in jeder Stellung des Maßstabs mindestens zwei Codefelder auf das Array projiziert werden, d. h. der Abstand der Codefelder muß kleiner als die halbe Länge der photoempfindlichen Fläche des Arrays sein.

15 Die Lage X des Maßstabs relativ zum Array kann in beiden Fällen von einer elektronischen Schaltung im wesentlichen gemäß der Gleichung

$$X = \sum_{i=1}^n a_i + m \cdot \Delta p + \Delta x$$

20 mit

a_i = Abstand der Codefelder,	n = Nummer des betreffenden Codefeldes
Δp = mittlerer Diodenabstand,	m = Nummer der vom Codefeld bedeckten Photodiode
Δx = Interpolationswert	

ohne großen Aufwand z. B. in Realzeit berechnet werden. Das erste Glied
25 dieser Gleichung vereinfacht sich je nach Art des verwendeten Nummerncodes. Für den Fall äquidistanter Codefelder im Abstand a , die einen fortlaufenden Code bilden, beispielsweise zu $n \cdot a$.

Da die Einzeldioden eines Arrays im allgemeinen nicht gleichzeitig ange-
30 steuert werden, sondern von einer elektronischen Schaltung sequentiell abgetastet werden, kann ein systematischer Fehler in der Lagebestimmung dann auftreten, wenn die Messung bei bewegtem Maßstab erfolgt. Die nacheinander abgetasteten Dioden liefern dann Meßwerte mit einem von ihrer Stellung im Array und von der Geschwindigkeit des Maßstabs abhängigen
35 Phasenfehler.

Um diesen Fehler zu eliminieren ist es vorteilhaft, den Maßstab nicht kontinuierlich sondern durch mit dem Abtastzyklus des Diodenarrays synchronisierte kurze Lichtblitze zu beleuchten, durch die der Zeitpunkt einer Lagemessung eindeutig festgelegt ist. Da die Arrayelemente eine der auf sie auffallenden Lichtmenge proportionale Ladung praktisch ohne Verluste über einen relativ langen Zeitraum speichert, kann die Beleuchtung zwischen den Abtastzyklen erfolgen, während der sich das Meßsystem weiterbewegt. Auf diese Weise läßt sich die Abtastfrequenz des Arrays gezielt auf das zur Bildung des Meßwertes in Realzeit nötige Maß erniedrigen.

10

Eine weitere vorteilhafte Lösung zur Eliminierung des besagten systematischen Meßfehlers besteht darin, zwei Teilbereiche des Diodenarrays oder zwei einzelne Arrays gegenläufig abzutasten. Es sind Diodenarrays bekannt, deren geradzahligen und ungeradzahligen Elemente separat angesteuert werden können. Verwendet man ein derartiges Array beispielsweise in Verbindung mit einem Maßstab, dessen Teilstriche die gleiche Breite wie die Dioden des Arrays besitzen, und steuert beide Teilbereiche gegenläufig an, dann fällt der besagte Meßfehler bei der anschließenden Mittelung über die Differenzen der Signalintensitäten jeweils benachbarter Dioden, wie man sofort einsieht, heraus.

20

Anhand der Figuren 1-4 der beigegeführten Zeichnungen wird nun der Erfindungsgegenstand näher erläutert:

- 25 Fig. 1 skizziert einen Schnitt durch ein gemäß der Erfindung aufgebautes Meßsystem senkrecht zur Richtung des Maßstabs;
- Fig. 2 skizziert einen Schnitt längs der Linie II-II in Fig. 1;
- 30 Fig. 3 stellt die Projektion eines Ausschnittes der Gitterteilung eines Maßstabs auf die Oberfläche eines Diodenarrays in einer ersten Ausführungsform dar;
- Fig. 4 stellt die Projektion eines Ausschnittes der Teilung eines Maßstabs auf die Oberfläche eines Diodenarrays in einer zweiten
- 35

Ausführungsform dar.

Fig. 5 zeigt die Explosionsdarstellung eines nach der Erfindung aufgebauten Winkelencoders

5

Fig. 6 stellt die vereinfachte Teilung des Maßstabs aus Fig. 5 auf die Oberfläche eines ringförmigen Diodenarrays projiziert dar.

Das in den Figuren 1 und 2 skizzierte Meßsystem ist in einem am feststehenden Maschinenteil 8 befestigten Ablesekopf 7 untergebracht, der eine Beleuchtungseinrichtung 10, 11 sowie das Photodiodenarray 3, im folgenden mit pda abgekürzt, und elektronische Bauteile 18, 19 zur Auslesung des pda 3 und Weiterverarbeitung der Ausgangssignale enthält. Die Elektronik 8, 9 ist nahe am pda angebracht, um eine möglichst hohe Grenzfrequenz der 15 Abtastung zu erreichen.

An dem in Richtung des Pfeils 13 verschiebbaren Maschinenteil 9 ist ein Glasmaßstab 1 befestigt, der an der dem Array 3 gegenüberliegende Seite eine noch zu beschreibende, im wesentlichen inkrementale Teilung 2 trägt. 20 Durch die Lichtquelle 10 und die Linse 11 des Beleuchtungssystems wird die Teilung 2 des vom Ablesekopf 7 umgriffenen Maßstabs 1 auf die lichtempfindliche Fläche des Arrays 3 projiziert. Der Abstand zwischen der Teilung 2 und der lichtempfindlichen Fläche ist so klein, daß die Striche der Teilung 2 praktisch als scharf begrenzte Schatten auf der lichtempfindlichen Fläche des pda abgebildet werden. Die einzelnen Elemente des pda liefern einen Strom, der dem jeweiligen zeitlichen Integral des auf sie auffallenden Lichtstromes entspricht. Sie werden sequentiell durch eine rasche Impulsfolge abgetastet, die die in den Elementen gespeicherte Ladung ausliest und nach Abspeichern der jeweiligen Werte in einem Rechner für 30 die nächstfolgende Sequenz löscht. Die Lichtquelle kann beispielsweise eine Gasentladungslampe sein, die synchron mit den Abtastsequenzen gezündet wird.

Anhand der Figur 3, die eine Projektion der Gitterteilung 2 auf die lichtempfindliche Fläche 5 des pda 3 darstellt, soll nachfolgend der Meßvor- 35

- 11 -

gang, d. h. die Ermittlung der Relativposition x zwischen den Maschinenteilen 8 und 9 erläutert werden:

Mit 6 sind die Schatten der Teilstriche des Maßstabes 1 bezeichnet. Sie bilden eine im wesentlichen äquidistante Folge. Die photoelektrisch empfindliche Schicht des pda ist mit 5 bezeichnet. Sie enthält eine ebenfalls äquidistante Folge von lichtempfindlichen Elementen, deren erstes mit 5.1 und deren Mtes mit 5.M bezeichnet ist. Diese Elemente liefern entweder den vollen Strom, wenn das Licht der Beleuchtungseinrichtung die volle Breite des Elementes ausleuchtet, oder einen verminderten Strom, wenn der Schatten eines Teilstriches das Element ganz oder teilweise bedeckt. Die elektronische Schaltung, die die Elemente abtastet, kann diesen Unterschied erkennen und mit Hilfe eines einstellbaren Triggerpegels entscheiden, ob ein Element als beleuchtet oder unbeleuchtet zu zählen ist.

Die Folge von Teilstrichen 6 ist längs des Maßstabes an einigen Stellen durch eine Codierung 4a bzw. 4b unterbrochen. Eine solche Codierung besteht aus zwei durchsichtigen Leerstellen 17 am Anfang und am Ende des Codefeldes 4a bzw. 4b und einer kleineren Zahl von Strichstellen 18 bzw. 19, die in dual codierter Art entweder durchsichtig oder undurchsichtig sind. Die Orte dieser Codefelder sind definiert durch ihre Mitten x_{n-1} bzw. x_n . Ihre äquidistanten Abstände a auf dem Maßstab sind so gewählt, daß in jeder möglichen Position mindestens ein identifizierbares Codefeld auf das pda abgebildet wird. Diese Bedingung ist erfüllt, wenn gilt:

$$d \geq a + 2b$$

Hierin sind

- d = Länge der lichtempfindlichen Schicht des pda
- a = Abstand zwischen zwei benachbarten Codefeldern
- b = Breite eines Codefeldes.

Da die Länge b eines Codefeldes sehr viel kleiner ist als die Länge a des Arrays 3, ist im wesentlichen die Bedingung $a < d$ einzuhalten.

Die Leerstellen 17, d. h. der jeweilige Beginn oder das Ende eines Codefeldes wird über einen Kompatibilitätsvergleich durch eine dem pda nachgeschaltete logische Schaltung, die z. B. ein Computer oder ein Mikroprozes-

sor sein kann, erkannt. Durch die Schaltung wird also das m-te Element 5.m des pda erkannt, in das die Mitte des n-ten Codefeldes 4b fällt. In dem in Figur 3 skizzierten Fall ist $n = 6$, was die logische Schaltung durch eine Decodierung der zwischen den Leerstellen 17c und 17d liegenden 5dualen Strichfolge erkennt.

Zweckmäßigerweise werden bei vorgegebener pda-Länge die Größen d und a und b so gewählt, daß d nur wenig größer als die Summe von $a + 2b$ ist, nämlich nur so viel größer als es zur Überbrückung der unvermeidlichen 10 Teilungsfehler des Maßstabes und von Temperatureinflüssen erforderlich ist. Die logische Schaltung braucht dann nur 3 Fälle zu unterscheiden:

1. es liegt nur genau ein Codefeld im Bereich der lichtempfindlichen Fläche des pda. Dies ist der Fall wenn das Codefeld sich im mittleren Bereich befindet.
2. Es liegt ein vollständiges und ein unvollständiges Codefeld im Bereich der lichtempfindlichen Fläche des pda, wie dies in Figur 3 gezeichnet ist.
3. Es liegen im Grenzfall zwei vollständige Codefelder am äußersten linken und rechten Rand der lichtempfindlichen Fläche des pda.

In den ersten beiden Fällen ist die Decodierung problemlos, da die Vollständigkeit erkannt wird. Im dritten Fall wird durch eine willkürliche Vereinbarung festgesetzt, daß z. B. das rechte Codefeld zur Indizierung benutzt wird.

Definiert man die Lage des pda relativ zum Maßstab durch die Position der rechten Kante des pda, wie es in Figur 3 durch die mit x_0 bezeichnete Position angedeutet wird, dann ergibt sich zunächst die ungefähre Position x' zu

$$x' = n \cdot a + m \cdot \Delta p \quad (1)$$

- 13 -

Hierin sind

x' = die messende Position (ungefähr)

n = Nummer des Codefeldes, durch die Codierung bestimmt

m = Nummer des pda-Elementes, in das die Mitte des Codefeldes fällt

5 Δp = Breite eines Elementes des pda

Dadurch, daß m eine ganze Zahl ist, ist x' von dieser Gleichung nur auf $\pm \Delta p/2$ genau bestimmt. Da Δp je nach Bauart des pda zwischen 13 und 25 μm liegt, genügt der daraus resultierende mittlere Fehler für Präzisionsmessungen nicht. Zur Ermittlung eines exakteren Wertes für die Position x berechnet die dem pda nachgeschaltete Elektronik einen Interpolationswert Δx , so daß sich die zu messende Position x zu

$$x = x' + \Delta x \quad (2)$$

15 ergibt mit

$$- 1/2 \Delta p < \Delta x < 1/2 \Delta p$$

Die Genauigkeit der Interpolation wird im wesentlichen durch zwei Faktoren begrenzt: Die Teilungsfehler von Maßstab und pda und die Dynamik des vom pda abgegebenen elektrischen Signals. Für die nachfolgende Abschätzung der mit einer Interpolation erreichbaren Genauigkeit ist angenommen, daß diese Fehler bei der Bestimmung der Lage eines Kantenüberganges 5 % beträgt. Da die Gesamtbreite der photoempfindlichen Schicht gängiger pda's z. B. des 1024 Elemente umfassenden pda L 1024 c der Fa. Reticon 25 mm beträgt, läßt sich die Lage einer Kante bis auf einen Fehler von

$$\Delta f = \frac{25 \text{ mm}}{10^3} \cdot 0,05 = 1,25 \text{ } \mu\text{m} \quad (3)$$

bestimmen.

30 Zur Erzeugung des Interpolationswertes Δx können alle Kantenübergänge herangezogen werden, die nicht im Bereich eines Codefeldes liegen, also ca. 1000 Kanten. Da die oben angegebenen Fehlerursachen im wesentlichen statistischer Natur sind, ergibt sich durch Mittelung über alle Kantenübergänge ein mittlerer Fehler $\overline{\Delta f}$ von

35

ORIGINAL INSPECTED

14 -

$$\overline{\Delta f} = \frac{\Delta f}{\sqrt{10^3}} = 0,04 \text{ } \mu\text{m} \quad (4)$$

unter Berücksichtigung eines relativ großen Meßbereiches von etwa 400 mm, der sich mit 16 nur 4 Teilstriche umfassenden Codefeldern ohne weiteres realisieren läßt, ergibt sich eine Meßgenauigkeit von 10^{-7} , die sich mit herkömmlichen absoluten Meßsystemen nicht erreichen läßt.

Bei inkrementalen Meßsystemen müßte über den Nachteil der Initialisierung hinaus die Feinheit der Teilung und damit die Zähhfrequenz sehr hoch getrieben werden.

In einer zweiten Ausführungsform besitzt der Maßstab 1, die in Figur 4 skizzierte inkrementale Teilung 12, deren Teilstriche 16 durch Codefelder 14 unterbrochen sind, die jeweils aus zwei fehlenden Teilstrichen 16 gebildet sind. Hier erfolgt die Absolutwertcodierung durch die Anzahl der Striche 16 der inkrementalen Teilung 12 zwischen den Codefeldern; d. h. der Abstand a'_{n-1} zwischen den gezeigten Codefeldern 14a und 14b unterscheidet sich vom Abstand a'_n zwischen den Codefeldern 14b und 14c. Dabei muß sichergestellt sein, daß zu jedem Zeitpunkt mindestens zwei Codefelder 14 auf die lichtempfindliche Fläche 5 des Arrays 3 projiziert werden, um über die Abtastung der Dioden 5.1 bis 5.M die für die Berechnung des Absolutwertes x nötige Information über die Anzahl der Striche 16 zwischen den gerade aufprojizierten Codefeldern 14 zu erhalten.

Die Anzahl der Striche 16 zwischen den Feldern 14 kann z. B. in x-Richtung nach Art einer arithmetischen Reihe regelmäßig zunehmen, so daß die dem Array 3 nachgeschaltete Elektronik auf sehr einfache Weise aus dem gemessenen Abstand a'_n zwischen zwei Feldern 14 die aktuelle Position des n-ten Codefeldes, die durch die Summe über alle a_i bestimmt ist, berechnen kann. Die Ermittlung der exakten Lage x erfolgt dann ebenso wie bereits anhand von Figur 3 beschrieben. In Gleichung 1, die für den Spezialfall von Codefeldern mit konstantem Abstand a gilt, ist der Ausdruck $n \cdot a$ lediglich durch die Summe über alle a_i zu ersetzen.

- 15 -

In den beiden Ausführungsbeispielen für einen linearen Stellungsgeber nach den Figuren 1 bis 4 besitzen der Maßstab und das pda unterschiedliche Rasterkonstanten. Dies ist jedoch nicht zwingend erforderlich. Durch die Rasterkonstanten von Maßstab und pda wird lediglich der Aufbau der elektronischen Anordnung festgelegt, die z. B. den Interpolationswert bestimmt. Im folgenden Ausführungsbeispiel ist ein Winkelencoder dargestellt, dessen Maßstab und pda die gleiche Rasterkonstante besitzen, wodurch die Interpolation vereinfacht wird.

10 Das Gehäuse des in Fig. 5 dargestellten Encoders besteht aus zwei Hälften 101 und 110, die jeweils eine zentrische Bohrung besitzen, und umschließt eine auf einer durch die Bohrung gesteckten Welle 107 befestigte, transparente Scheibe 106. Auf die Scheibe 106 ist eine im wesentlichen inkrementale Teilung 108 aufgedampft, die aus einer Folge gleich großer Seg-
15 mente mit unterschiedlicher Lichtdurchlässigkeit besteht. Die Scheibe 108 kann auch aus Metall bestehen, in das die lichtdurchlässigen Segmente der Teilung in Form von Fenstern eingeätzt sind. Ein ringförmiges pda 102 ist über seine Kontakte 104 mit dem als Stecker ausgebildeten Boden 105 des Gehäuseteils 101 fest verbunden. Der ebenfalls ringförmige lichtempfind-
20 liche Bereich 103 des pda 102 ist dem Maßstab 108 zugekehrt.

Zwischen der Gehäusehälfte 110 und der Scheibe 107 befindet sich eine gehäusefeste Platte 109, die dicht mit Lumineszenzdiode bestückt ist. Die Dioden beleuchten durch die transparente Teilung 108 hindurch die licht-
25 empfindliche Schicht 103 des pda 102.

Die Teilung 108 und das pda 102 besitzen das gleiche Raster womit gemeint ist, daß die Breite eines lichtdurchlässigen bzw. eines lichtundurchlässigen Segments der Teilung 108 gleich der Breite eines pda-Elementes ist
30 und die Anzahl der Dioden des pda's gleich der Anzahl der Segmente der Teilung 108 ist. Lediglich an einer Stelle auf der Maßstabsteilung 108 befindet sich ein Codefeld 111, das aus drei aneinandergrenzenden lichtundurchlässigen Segmenten besteht, also durch zusätzliches Bedampfen eines einzigen lichtdurchlässigen Segmentes der inkrementalen Teilung ge-
35 bildet worden ist.

EAD ORIGINAL

Das pda 102 besitzt eine geradzahlige Anzahl von 2048 Elementen. In Fig. 2, in der die Projektion der Maßstabsteilung 108 auf die lichtempfindliche Fläche 103 des pda 102 skizziert ist, sind der Übersichtlichkeit wegen lediglich 48 Dioden dargestellt, und die Segmente der Maßstabsteilung, die natürlich den gleichen Durchmesser wie der Diodenring besitzt, sind gegenüber den Dioden versetzt gezeichnet.

Die Meßwerterfassung läuft folgendermaßen ab:

Das Codefeld 111 bestimmt die Winkelstellung ϕ_g des Maßstabs 108 relativ zum pda mit einer Genauigkeit, die sich aus der Breite eines pda-Elementes ergibt. Zur Ermittlung von ϕ_g kann beispielsweise eine elektronische Schaltung verwendet werden, die die Nummern der vom Codefeld 111 völlig bedeckten und daher das Ausgangssignal 0 liefernden Dioden in einen digitalen Winkelwert umformt. Durch das Codefeld 111 erfolgt also eine Groablesung des Winkels ϕ_g in Einheiten des Arrays mit

$$\phi_g = \frac{N_g}{N}$$

wobei N_g die Nummer des Elementes ist, das erstmals nach einem Element mit Photostrom 0 erneut den Photostrom 0 liefert, und N die Gesamtzahl der pda-Elemente ist.

Die "Feinablesung" liefert einen Interpolationswert $\Delta\phi$, der sich aus den Teilsummen P und Q der Photoströme aller geraden Elemente p und ungeraden Elemente q zu

$$\Delta\phi = \frac{1}{2N} \left(1 + \frac{Q - P}{Q + P} \right) \quad (5)$$

ergibt. Eine elektronische Schaltung, die aus der Signalsequenz des pda 102 den Wert für $\Delta\phi$ ermittelt, läßt sich ohne großen Aufwand mit wenigen Bauteilen realisieren.

Der exakte Winkel ϕ berechnet sich dann als Summe von ϕ_g (Grobwert) und $\Delta\phi$ (Interpolationswert) und gibt hochgenau und absolut die Winkellage der Welle 107 zum Gehäuse 101, 102 an.

Teilt man das pda 102 in Halbkreise auf und tastet beide Hälften gleichzeitig ab, so wird die Meßgenauigkeit auch bei kontinuierlicher Beleuchtung durch Bewegungen der Scheibe 108 während eines Abtastzyklus nicht beeinträchtigt. Der aufgrund der Bewegung auftretende Phasenfehler geht nämlich in die entsprechenden Teilsummen der beiden Halbkreise mit umgekehrtem Vorzeichen ein und fällt bei der Mittelwertbildung heraus.

Unter der Voraussetzung, daß das ringförmige Photodiodenarray aus 2048 Einzeldioden besteht, können mit dem erfindungsgemäßen angularen Encoder 10Winkel bis auf einen Fehler von

$$\delta\phi = \frac{2\pi}{2048} \cdot \frac{0,05}{\sqrt{2048}} \text{ rad} = 3,4 \cdot 10^6 \text{ rad} \quad (6)$$

gemessen werden, wobei wieder vorausgesetzt wird, daß Teilungsfehler und die Dynamik des pda einen Fehler bei der Bestimmung eines Kantenüberganges von 5 % der Elementenbreite verursachen.

Dieser Winkelfehler entspricht etwa dem allein durch die Feinheit der Teilung vorgegebenen Digitalisierungsfehler eines herkömmlichen absoluten 2018 Bit-Decoders. Ein solcher Decoder besitzt etwa einen Durchmesser von 450 mm, während der Durchmesser eines Winkelencoders gemäß der Erfindung um mehr als den Faktor 10 kleiner ist. Außerdem ist anzumerken, daß Exzentrizitäten der Kreisteilung 108 die Meßgenauigkeit des Encoders nicht beeinflussen, wenn sie kleiner als die Breite eines pda-Elementes sind, da sie sich bei der Interpolation herausmitteln, solange die Grobablesung davon nicht beeinflußt ist.

Selbstverständlich ist es ohne weiteres möglich, statt eines geradzahlig geteilten Maßstabes in Verbindung mit einem pda, das eine geradzahlige Anzahl Dioden besitzt, einen ungeradzahlig geteilten Maßstab und ein pda mit einer entsprechend ungeraden Anzahl von Elementen zu verwenden. Dadurch ändert sich nur der Aufbau der Auswerteelektronik geringfügig, die dafür sorgen muß, daß die Photoströme der Elemente, die zunächst in das ungeradzahlige Summationsglied Q hineinlaufen nach Erkennung des Codefeldes, das dann beispielsweise aus zwei oder vier nebeneinanderliegenden Feldern

- 18 -

gleicher Lichtdurchlässigkeit besteht, vom Summationsglied der geradzahli-
gen Elemente P erfaßt werden und umgekehrt.

Es ist auch nicht unbedingt erforderlich, daß das pda als Vollring ausge-
bildet ist. Wenn die Teilung 108 mehrere Codefelder besitzt, die die Ein-
deutigkeit der Messung sicher stellen, können auch pda's in der Form von
Kreissegmenten eingesetzt werden. Weiterhin kann der Durchmesser des Ar-
rays und des Teilkreises unterschiedlich gewählt werden, wenn durch eine
entsprechende Projektionsoptik gesorgt wird, daß die Kreisteilung auf die
10photoempfindliche Fläche des Arrays z. B. verkleinert abgebildet wird.

15

20Fy/His
08.09.1980

Lp

25

30

35

BAD ORIGINAL

Zusammenfassung

Der Stellungsgeber besitzt einen transparenten Maßstab, der zwischen einer gehäusefesten Beleuchtungseinrichtung und einem photoelektrischen Empfänger beweglich gelagert ist. Als Empfänger dient ein selbstabtastendes Photodiodenarray, das in der Ausbildung des Stellungsgebers als Wegmeßsystem lineare Bauform besitzt und für den Einsatz in einem Winkelencoder einen ringförmigen photoempfindlichen Bereich aufweist.

- 10 Die auf das Array projizierte inkrementale Teilung des Maßstabs ist an mindestens einer Stelle durch ein Codefeld unterbrochen, das wenige Dioden des Arrays abdeckt. Über die Nummern der Dioden, auf die das Codefeld projiziert ist, wird die Stellung des Maßstabs absolut von einer Ausleseelektronik ermittelt, während die Feinablesung durch eine Interpolation
- 15 über die Signalintensitäten der übrigen von der inkrementalen Teilung bedeckten Dioden erfolgt.

Ist der Maßstab länger als der photoempfindliche Bereich des Arrays, so trägt er mehrere mit einer vom Array lesbaren Kennung versehene Codefelder, deren Abstand so gewählt ist, daß immer mindestens ein Codefeld auf

20 das Array projiziert ist. Die Kennung stellt in Verbindung mit dem Abstand der Codefelder die Eindeutigkeit der Grobablesung des absoluten Meßwerts sicher.

25

30

35

- 20 -
Leerseite

Nummer:
 Int. Cl.³:
 Anmeldetag:
 Offenlegungstag:

3035012
 G01B 11/26
 17. September 1980
 1. April 1982

Fig. 1

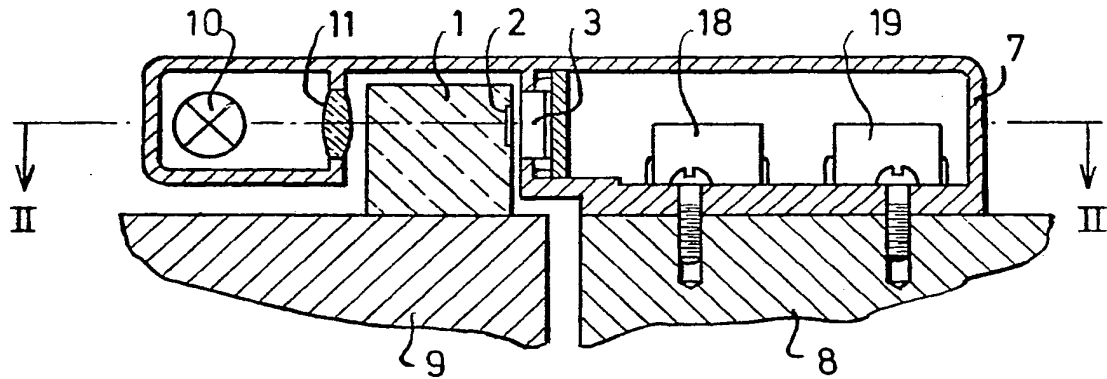


Fig. 2

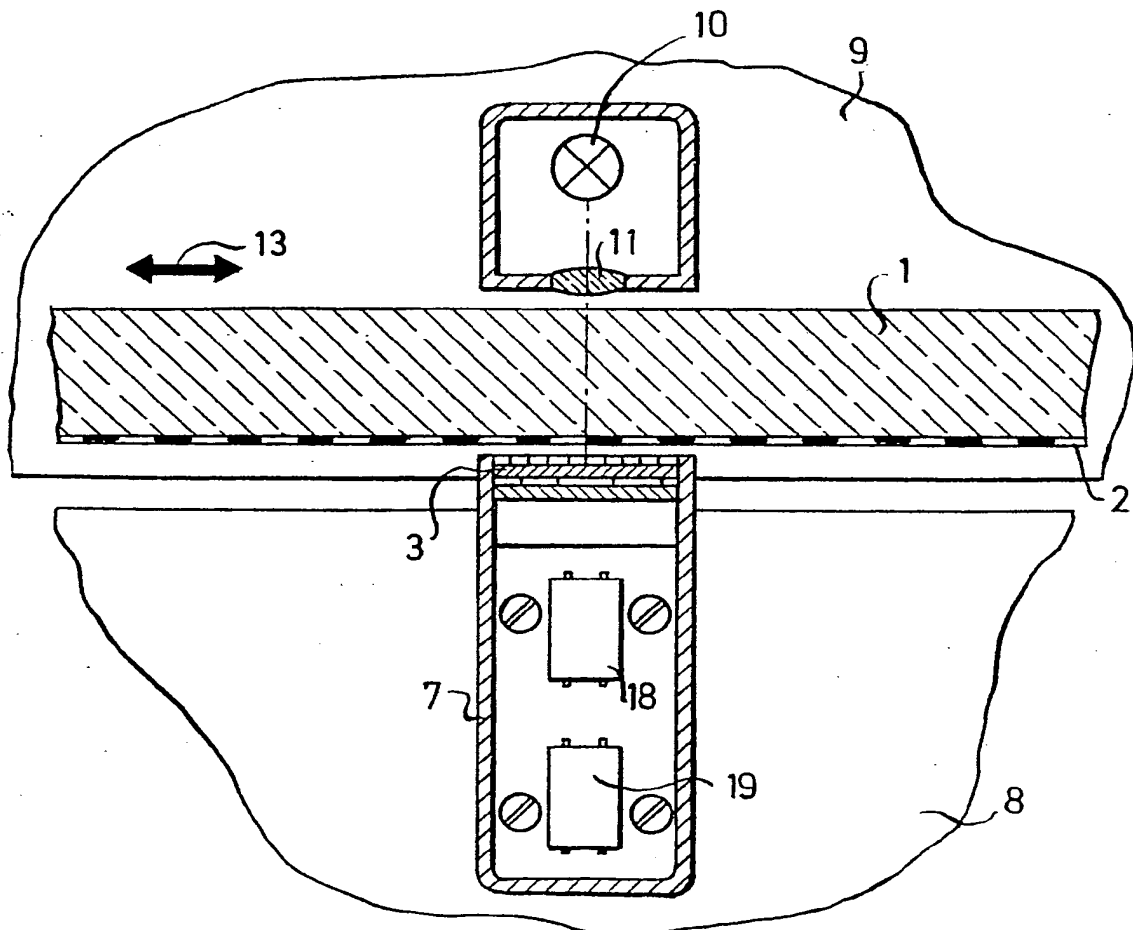
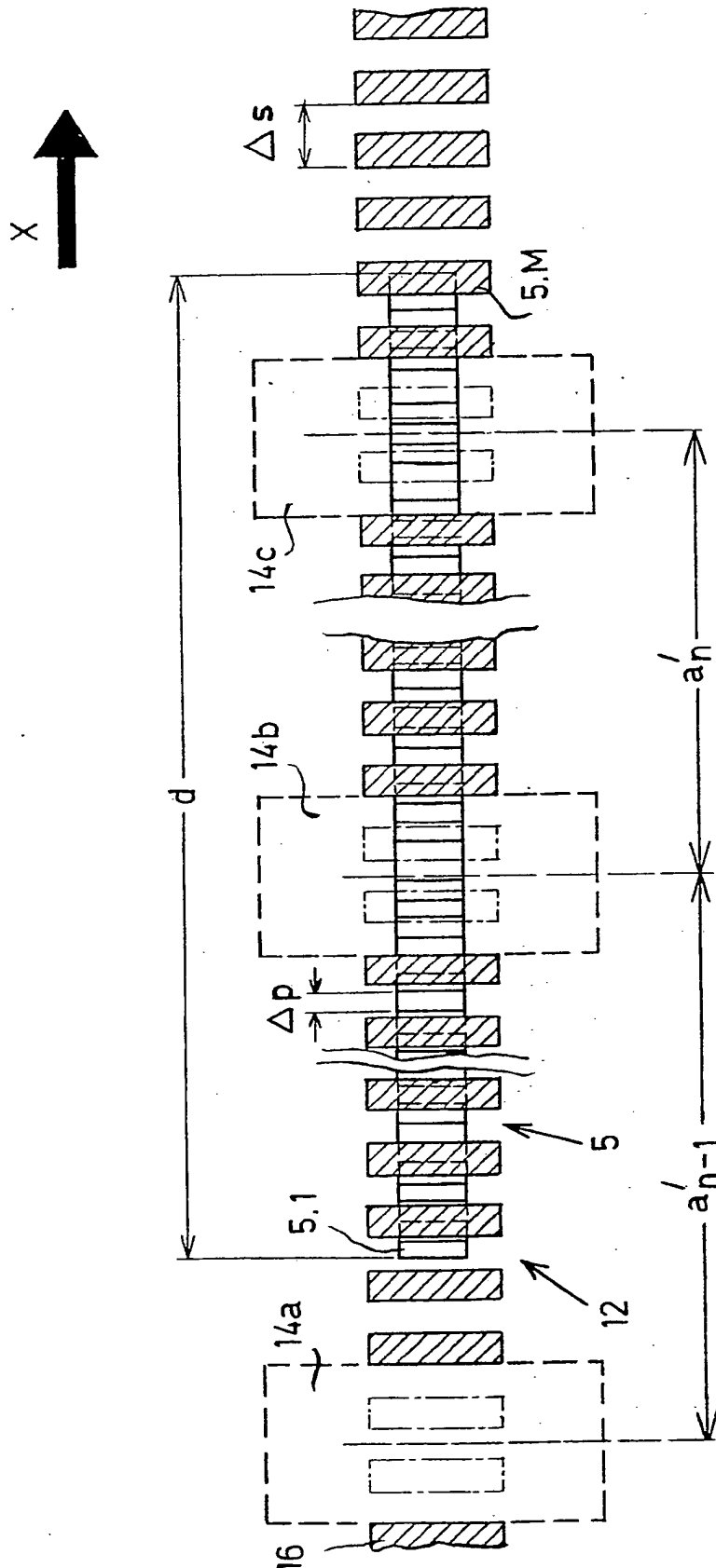


Fig.4



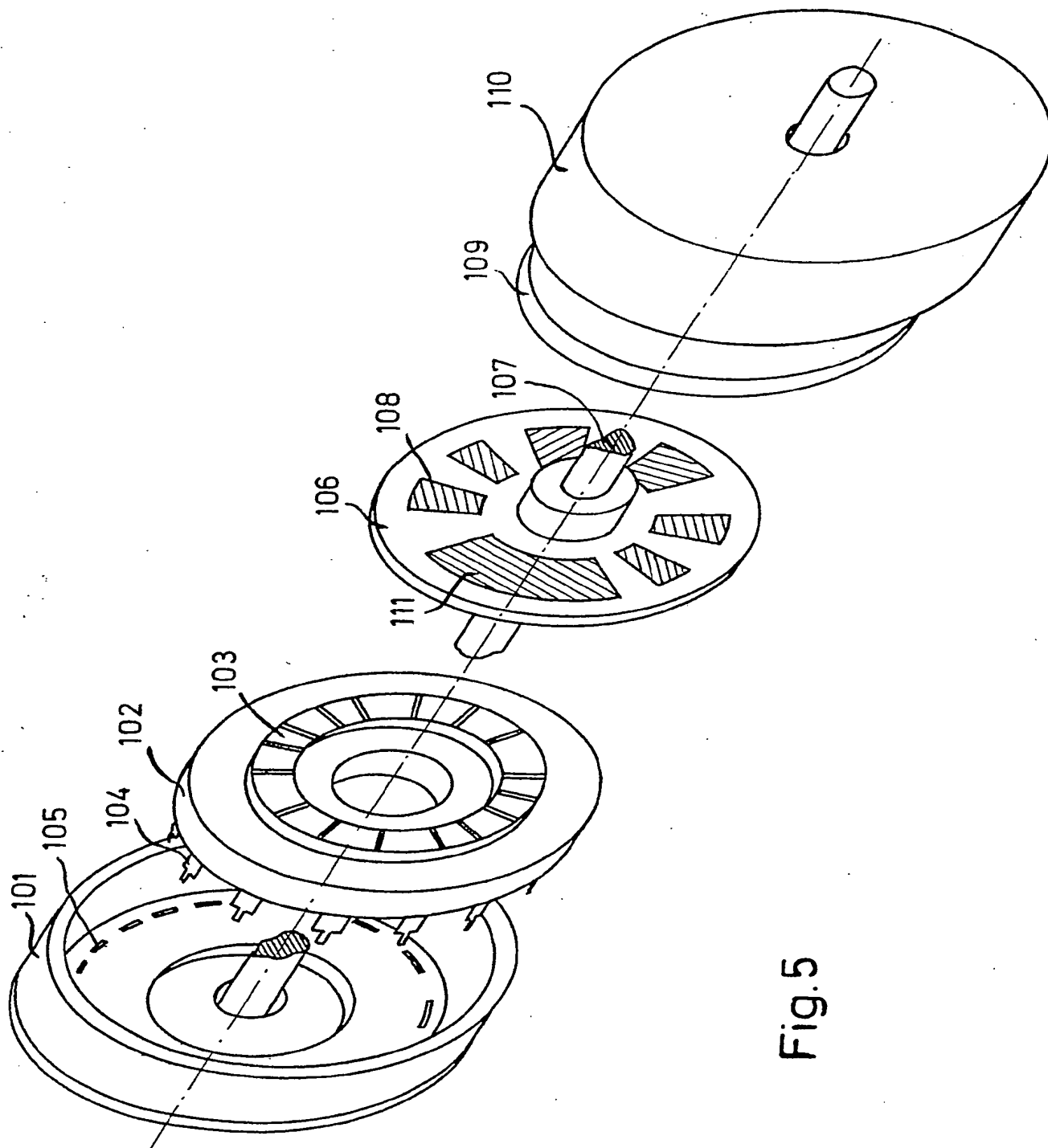


Fig.5

Fig.6

